

Echtzeit Fußgänger-Videoanalyse zur Unterstützung der Simulation des Personenverhaltens

Majer, Ralph; Link, Norbert^①; Junker, Olaf; Strauss, Verena^②

Vitracom AG[•]
76133 Karlsruhe, Germany
majer@vitracom.de
link@vitracom.de

Airport Research Center GmbH[•]
52066 Aachen, Germany
olaf.junker@arc-aachen.de
verena.strauss@arc-aachen.de

Zusammenfassung: Die Nutzung von Echtzeitsimulationen, gekoppelt mit Real-
daten des Personenverhaltens innerhalb eines öffentlichen Gebäudes, ist ein neuer
Ansatz der zur Erhöhung der Sicherheit von Personen in öffentlichen Räumen ge-
nutzt werden kann. Um eine realistische Prognose durch die Simulation zu erzie-
len, ist es notwendig, diese permanent mit der Realität abzugleichen. Hierbei kann
eine Videoanalyse die nötigen Daten für die Simulation liefern. Der vorliegende
Beitrag erläutert die Ergebnisse und den Aufbau eines Laborversuchs, in welchem
dieser neue Ansatz untersucht wurde. Hierbei wurde das Verhalten von Personen
in einem Raum durch Videokameras aufgezeichnet und analysiert und die daraus
entstandenen Daten der Simulation zur Verfügung gestellt. Die in der Realität und
der Simulation gemessenen Passagierflussmengen werden in der Simulation durch
einen Simulations-Controller verglichen. Die daraus entstandenen Ergebnisse und
Differenzen werden an Stelleinheiten innerhalb der Simulation weitergegeben, die
eine Maßnahme einleiten können, um die Passagierflüsse in der Simulation ent-
sprechend denen der Realität anzupassen. Die Ergebnisse zeigen, dass sich die
Kurve der Passagierflüsse in der Simulation der Kurve in der Realität annähert,
wobei die Simulation eine zeitliche Verzögerung aufweist. Trotzdem bildet sie die
Realität in einer angemessenen Form ab. Weiterführende Untersuchungen sollen
zeigen, welche zusätzlichen Instrumente eine weitere Annäherung des Passagier-
flussverhaltens in der Simulation an die Realität ermöglichen können.

1 Problemstellung

Personen, die sich in einem räumlich begrenzten Umfeld bewegen, stellen durch ihre
unterschiedlichen Pläne, Strategien und Möglichkeiten, aber auch durch ihre Interaktio-
nen und geometrischen Bewegungseinschränkungen ein komplexes dynamisches System
dar. Agenten- und flussbasierte Simulationen des Personenbewegungsverhaltens werden
unter anderem zur Planung von Verkehrsanlagen genutzt. Darüber hinaus werden auch
Notfall- und Evakuierungsszenarios simuliert, um Maßnahmen abzuleiten, die bereits im
Voraus sicherheitsrelevante oder kritische Situationen verhindern sollen. Voraussetzung
für solche vorbeugenden Maßnahmen ist eine Erkenntnis über die Entstehung gefährli-
cher Situationen.

Eine weitere Herausforderung ergibt sich bei der Beobachtung von großen Flächen mit Fußgängerverkehr wie etwa Bahnhöfen oder Flughäfen. Bei solchen Infrastruktureinrichtungen ist es nicht möglich, das Personenverhalten auf der gesamten Fläche mit Hilfe von Sensoren wirtschaftlich aufzuzeichnen. Zudem kann eine Aufzeichnung allein keine Prognose liefern. Eine Simulation allein kann jedoch auch keine Informationen über die reale Situation oder einen Trend für die Zukunft liefern: Da sich die Realität permanent verändert, würden Simulation und Realität ohne eine Aktualisierung der relevanten Daten sehr schnell auseinanderdriften. Um sich diesem Problem zu nähern, schlagen wir die (Schnellzeit-)Simulation eines Modells des Fußgängerverkehrs, auf einer definierten Fläche mit Hilfe von lokalen Messsystemen an bestimmten Teilbereichen, vor.

2 Lösungsansatz

Die Nutzung von Echtzeitsimulationen, gekoppelt mit den Realdaten über das Personenverhalten innerhalb eines öffentlichen Gebäudes, ist ein neuer Ansatz, welcher zur Erhöhung der Sicherheit von Personen in öffentlichen Räumen genutzt werden kann. Die Basisinformationen für die Ausgangssituation stellt im Allgemeinen ein Modell der Gebäudestrukturen und des generellen Personenverhaltens dar. Dieses Modell spiegelt den mikroskopischen Zustand des Systems wider, der durch die Summe der mikroskopischen Zustände aller Einzelpersonen zustande kommt. Messungen können diesen Zustand in Realzeit wiedergeben. Wie bereits erwähnt, ist es jedoch nicht möglich, den gesamten Raum durch Messsysteme abzudecken, daher beschränken wir uns auf Situationen, in denen Personenflüsse nur an bestimmten Stellen oder Flächen gemessen werden. Die hieraus generierten Werte stellen die sogenannten „Observationen“ eines Systems dar, die jedoch nur einen Bruchteil der gesamten Zustandsgrößen widerspiegeln. Die Differenzen zur Realität, die durch eine Reduktion auf die reinen Beobachtungen entstehen, können daher nicht bestimmt werden. Eine Lösung besteht darin, den mikroskopischen Zustand mit den Beobachtungen in Beziehung zu setzen und die Simulationsparameter so anzupassen, dass die gemessenen Beobachtungswerte reproduziert werden.

2.1 Bestehende Lösungsansätze in der Literatur

Die Idee, Messungen zur Kalibrierung von Simulation zu nutzen, ist bereits von mehreren Forschungsgruppen verfolgt worden. Bei [HA03a] sind die Messdaten offline erhoben und zur einmaligen Kalibrierung der Simulation vor der Anwendung genutzt worden. In [KL01], [HA03b] und [HA04] hingegen werden mesoskopische Simulationssysteme vorgestellt, die Echtzeitmessungen nutzen, um die Ausgangswerte des Simulationssystems festzusetzen.

Mit der Erfassung des aktuellen mikroskopischen Zustandes eines dynamischen Systems durch die Messung einiger weniger Beobachtungen beschäftigen sich so genannten „Beobachtungsmodelle“ in der Kontrolltheorie linearer Systeme. Der Beobachter besteht hierbei aus einem virtuellen System, das parallel zur Realität existiert.

Es wird angenommen, dass das reale System linear verläuft und dem gleichen dynamischen „state space model“ folgt wie das virtuelle System. Die Bezeichnung „Beobachter“ geht auf seinen Erfinder Luenberger zurück [LU64].¹

2.2 Charakteristika von Videomessungen und Simulation

Echtzeit-Videoanalysen können genutzt werden, um Messungen durchzuführen und um Personenfluss-, Geschwindigkeits- und Spurdaten der beobachteten Flächen zu generieren. Abhängig von den Videoaufbereitungssystemen und der abgebildeten Situation können entweder Flussverteilungsdaten von größeren Flächen oder genaue Wegeketten-
daten von kleineren Flächen generiert werden.

Die Videoanalyse in diesem Versuch wird durch das Site-View-System der Vitracom AG durchgeführt, welches die Bewegungskurven sowie Anzahl und Geschwindigkeit der Personen mit einer Frequenz von 25 Bildern pro Sekunde extrahieren kann. Aus diesen Informationen können allgemeine Regeln, beispielsweise hinsichtlich des Personenverhaltens, abgeleitet werden.

Zur Visualisierung und Simulation wird das Simulationssystem CAST der Airport Research Center GmbH genutzt, welches eine stetige Simulation erlaubt, die Modellierungs-, Simulations- und Visualisierungsmöglichkeiten in einer integrierten Umgebung vereint. CAST wurde ausgewählt, da neue Simulationsakteure einfach entwickelt und in die bestehende Umgebung integriert werden können. Innerhalb des Simulationssystems CAST bildet jeder Agent einen Akteur (z.B. ein Passagier, ein Fahrzeug etc.), der entsprechend seiner individuellen Eigenschaften auf die gegebene Situationen reagieren kann. Entsprechend der Idee des BDI [SA04] hat daher jeder Agent sein spezifisches Wissen und seine eigenen Ziele. Zudem können die Agenten detailliertes Wissen über ihre Umgebungssituation haben. Dieser Idee folgend, wurden Sensoren in CAST implementiert, die Real- und Simulationsdaten aufzeichnen. Hinzu kamen zudem Akteure, die Veränderungen an anderen Akteuren vornehmen können (Aktuatoren).

2.3 Kommunikation zwischen Realität und Simulation

Ziel ist es, die Simulation parallel zur Realität durchzuführen, in der die Videoanalyse stattfindet. Um dieses Ziel zu erreichen, müssen die von den Videokameras aufgenommenen Daten der Simulation zur Verfügung gestellt werden. Das Interaktionsschema, das diese Kontrollschleife initiiert, ist in Abbildung 1 dargestellt.

Die Werte der „Beobachtungen“, welche die Videoanalyse des realen Passagierflusses ausgibt, werden vom Simulations-Regler mit den Daten des Simulations-Sensors verglichen, die durch die Messung des virtuellen Passagierflusses in der Simulation entstehen. Der Simulations-Controller nutzt im Nachgang den Simulations-Aktuator, um die Simulationsparameter so zu verändern, dass sich die Passagierflusswerte einander angleichen.

¹ Eine genaue Erläuterung des Modells sowie eine Erweiterung zum dynamischen Modell finden sich in [JU10], weshalb hier nicht näher darauf eingegangen wird.

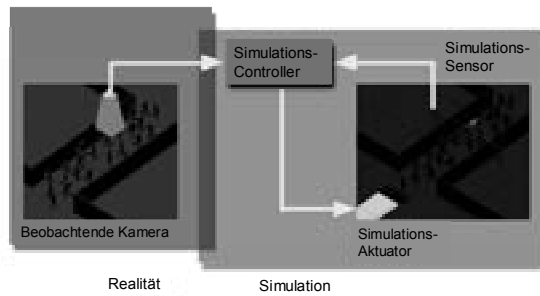


Abbildung 1: Abgleich zwischen Realität und Simulation

Da im Allgemeinen nicht die gesamte Situation abgedeckt werden kann, wird es mehrere Beobachter (Kameras, etc.) geben, die Daten für die Simulation zur Verfügung stellen. Die Konsequenz hieraus ist, mehrere Simulations-Regler zu installieren, um mehrere Datenquellen und sogar mehrere Aktuatoren einrichten zu können.

2.4 Schnittstelle zwischen Messung und Simulation

Um die Gültigkeit der vorliegenden Analyse zu beweisen, wurde ein reales Testszenario aufgebaut, wobei als Beobachtungsvariable die Dichte des Personenstroms genutzt wurde. Zur Messung und Simulation wurden die Technologien SiteView und CAST genutzt. Der erste Integrationsschritt bestand darin, die Schnittstelle für den Datenaustausch zwischen den Systemen zu definieren:

Für die Untersuchung wurde ein dateibasierter Offline-Datenaustausch realisiert. Für jede Person, die eine Zähllinie im Untersuchungsraum schnitt, wurde ein Zeitstempel und eine Richtungsangabe in einer CSV-Datei erzeugt. Obwohl es möglich ist, diese Daten offline auszutauschen um Testläufe beider Systeme durchzuführen, wird derzeit ein asynchroner „Remote Procedure Call“ implementiert, um die Daten für jeden einzelnen Zählvorgang auszutauschen. Hierfür wird eine Standard-Netzwerkverbindung zwischen den Systemen benötigt, die eine hinreichende Datenübertragungsrate aufweist. Der Austausch muss asynchron sein, da keines der Systeme auf das andere warten kann. Im Fall eines Datenverlusts entstehen keine technischen Probleme für die Systeme, da die grundlegenden Parametereigenschaften der Simulation durch historische Daten gegeben sind und diese durch die reale Situation „nur“ aktualisiert werden.

2.5 Testszenarien

Wie bereits erwähnt, wurde eine Beispielsituation zur Entwicklung und zum Test des Systems aufgebaut. Dieses Testszenario bestand aus einem Raum mit einem Ein- und einem Ausgang (vgl. Abbildung 2). Im Gegensatz zu einer realen Situation konnte in diesem Raum die gesamte Fläche zu Zwecken der Validierung von Simulationsergebnissen beobachtet werden. Im Test wurden jedoch nur Daten hinsichtlich der Vorgänge an

den Ein- und Ausgängen, also die Ein- und Austrittsfrequenz, abhängig von der Gehgeschwindigkeit der Personen, an die Simulation weitergegeben. Es wurden sechs Szenarien mit unterschiedlichen Verhaltensweisen zur späteren Analyse aufgenommen.²

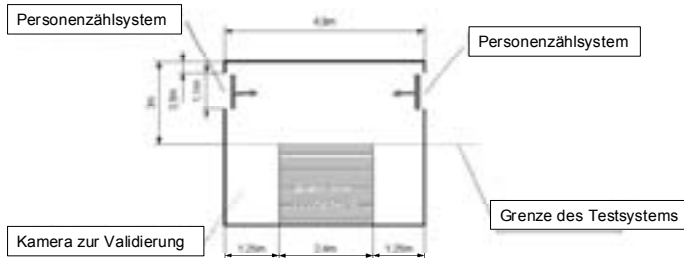


Abbildung 2: Laboraufbau zum Test der Datenaufnahme

3 Ergebnisse

Die Kurvenverläufe in Abbildung 3 und Abbildung 4 zeigen die simulierte und die beobachtete Passagierflussrate am Ein- und Ausgang des Untersuchungsraumes. In den Diagrammen ist der Passagierfluss über die Zeit aufgetragen und vereint die sechs verschiedenen Verhaltensszenarien (A1 bis B3), die nacheinander durchgeführt wurden. Hierbei ist nur die Flussrichtung vom Eingang zum Ausgang des Untersuchungsraumes wiedergegeben, die jedoch auch für die Gegenrichtung repräsentativ ist. Es ist zu erkennen, dass sich die Simulationskurve und die Kurve der Realität annähern, wobei die Simulationskurve, wie bereits diskutiert, eine Verzögerung aufweist.

Der Simulations-Controller nutzt zwei Aktuatoren am Eingang: Einer regelt die Passagiererzeugungsrate (basierend auf den vom Sensor gemessenen Flussdaten am Eingang) und ein anderer steuert die Geschwindigkeit der Agenten (basierend auf den Flussdaten am Ausgang). Vergleicht man die beiden Kurven, so ist zu erkennen, dass das Simulationsmodell das Verhalten der Personen angemessen wiedergibt. Abbildung 4 weist eine größere Verzögerung und eine geringere Genauigkeit auf, was auf die größere Entfernung zwischen Sensor und zugehörigem Aktuator zurückzuführen ist.

Während die Anpassung der Passagiererzeugungsrate am Eingang den Simulationszustand direkt und nur mit einer geringen zeitlichen Verzögerung beeinflusst, dauert die Anpassung der Geschwindigkeit, basierend auf den Sensordaten am Ausgang des Untersuchungsraumes, länger und verursacht daher eine größere Abweichung zwischen den beiden Kurven. Diese ersten Ergebnisse zeigen, dass das Modell in der Lage ist, den Beobachtungen zu folgen, indem es die Verhaltensparameter mit Hilfe des erwähnten Controllers anpasst. Dies verändert den internen Zustand des Simulationsmodells gemäß des Zustandes der real zu beobachteten Verkehrssituation.

² Details über die Testläufe können in [JU10] nachgelesen werden.

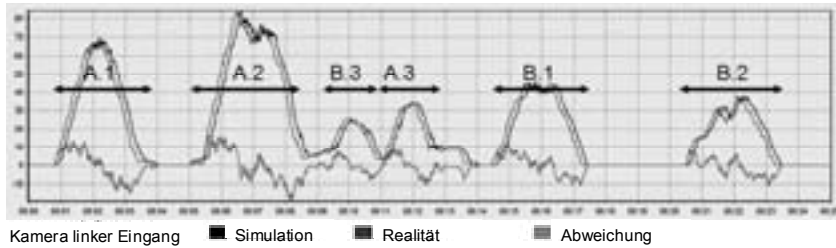


Abbildung 3: Ergebnisse Eingang: Vergleich von Simulation und Realität

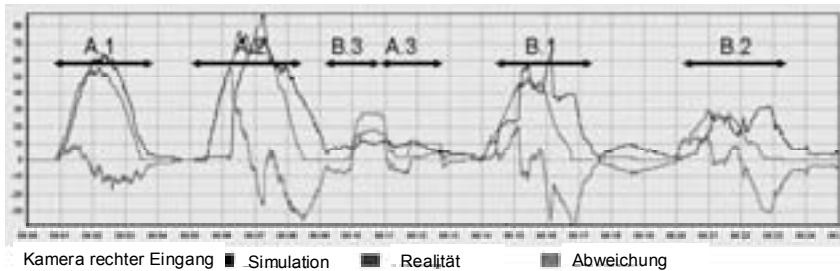


Abbildung 4: Ergebnisse am Ausgang: Vergleich von Simulation und Realität

Weiterführende Untersuchungen werden die internen Zustandskräfte analysieren, die Prognosemöglichkeiten ergänzen, bewerten und verdeutlichen, welche zusätzliche Instrumente genutzt werden können, um das Personenverhalten innerhalb der Simulation zu verfeinern.

4 Literaturverzeichnis

- [HA03a] Hanisch, A., Tolujew, J., Richter, K. and Th. Schulze: Online Simulation of Pedestrian Flow in Public Buildings Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference; S. Chick, P. J. Sánchez, D. Ferrin, and D. J. Morrice, eds., pp.1635-1641
- [KL01] Klügl F.: Multiagentensimulation - Konzepte, Werkzeuge, Anwendung, Addison Wesley, April, 2001, ISBN: 3-8273179-0-8
- [HA03b] Hanisch, A., Tolujew, J., Raape, U., Schulze, T.: Online-Simulation für Personenströme in einem Frühwarnsystem. In: Simulationstechnik, 17. ASIM-Symposium in Magdeburg. R. Hohmann (Hrsg.), SCS Int., Ghent 2003, S. 221-226.
- [HA04] Hanisch, A., Tolujew, J., Meuschke, T., Schulze, T.: „Datenkollektion“ zur online Simulation von Personenströmen. In Proceedings Simulation und Visualisierung 2004. Eds. T. Schulze, S. Schlechtweg, und V. Hinz, SCS-European Publishing House, pp. 27-38
- [LU64] Luenberger, D.G.: Observing the State of Linear Systems. IEEE Transactions on Military Electronics, 1964, 74-80.
- [JU10] Junker O., Strauss V., Majer R., Link N.: Real-time video analysis of pedestrians to support agent simulation of people behavior. Abrufbar unter News auf www.airport-consultants.com, 2010.
- [SA04] Sampaio D. J. B. S., Zettel D., Link N., Peschl M. and Moscato L.: Process Surveillance and State Sensing with Generic Model Parameter Estimation, AISTA 2004 in Cooperation with the IEEE Computer Society Proceedings, Luxemburg, Germany, 15-18 Nov. 2004, ISBN: 2-9599776-8-.